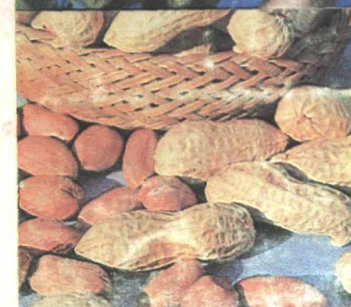
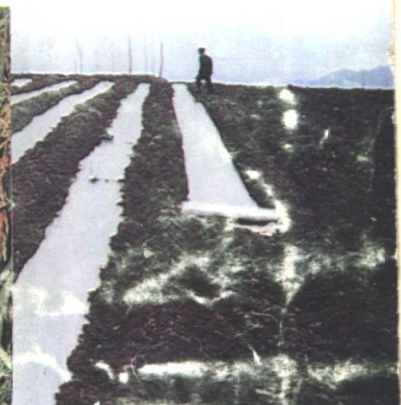
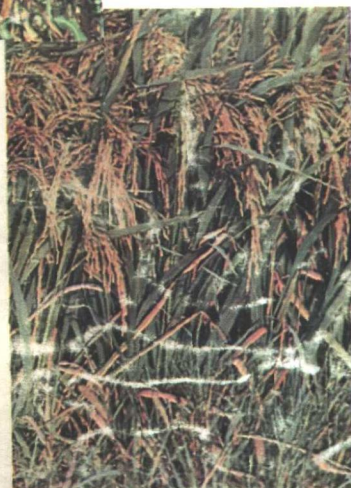
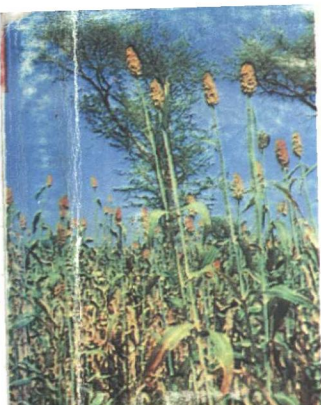


作物营养 和科学施肥

黄德明 编著

农业科学技术推广丛书

2
6 音



农业出版社

农业科学技术推广丛书

作物营养和科学施肥

黄德明 编著

农业出版社

(京) 新登字060号

农业科学技术推广丛书
作物营养和科学施肥

黄德明 编著

* * *

责任编辑 徐蒲生

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787 × 1092mm32开本 9.5印张 208千字
1993年5月第1版 1993年5月北京第1次印刷

印数 1—1,600册 定价 4.75元

ISBN 7-109-02665-5/Q · 156

前 言

70年代中期，一名外国学者震惊于全世界人口的快速增长和资源的日趋减少，发出过这样的慨叹：“身上无毛的类人猿又徘徊在进化的十字路口了！”虽然我国同样也面临着人口不断增加和资源日益减少的压力，但是，我们是乐观的。整个80年代的改革开放，使我国的国民经济迅速发展，不仅用有限的耕地养活了那么多的人口，而且使城乡生活水平有了明显的提高。无疑，应该归功于“政通民和”，也应该归功于科学技术的开发和应用。

如果说，在生产力水平比较低的时候，增加一点投入就可以使产出有明显的提高。在农业上，人们可以用扩大耕地面积，提高复种指数，增加化肥、农药的施用和扩大灌溉面积等等达到迅速增产的目的；而当生产力水平发展到一定程度，单位投入的增加与所能获得收益的增长逐渐接近的时候，就必需讲究科学技术，所谓“粪大水勤，不用问人”显然不管用了。

农业生产是一个包括了天、地、人、物的大系统。对于从事于农业生产，或服务于农业生产的人来说，了解或掌握这个大系统中农作物的生长发育规律，它对外界环境的要求；土壤的特性和它的供应能力；气候变化的特点以及各种肥料的性质、用途等等，将有助于这个系统的良好运转，达到提高产量和品质，增加效益和培肥地力的目的。编写这本小册子就是希望在这方面提供一些基本的知识和技术。在体

例上，我们努力作一些改进，如把植物营养、土壤特性和肥料性质、用途等综合在一起，并最后落实在推荐施肥技术上。期望读这本书的人不仅在理论上有所收获，而且还能掌握一些应用的知识和技术。

在编写过程中，除了应用我们自己的一些研究结果外，还采用了许多国内学者的研究结论和数据。主要的参考书籍有：周鸣铮先生的《土壤肥力学概论》、周祖澄先生的《商品肥料学》、孙祖瑛先生的《化学肥料的施用》、彭克明先生主编的《农业化学》、曾一平先生翻译马斯纳的《高等植物的矿质营养》、林葆和李家康先生的《中国化肥区划》和赵微平先生的《作物生理学》等等，在此一并致谢。

写书不易读书难。读者在繁忙的劳动、工作之余，挤点时间读书，如果能从这本小册子中得到一点收获，那末，作者、出版者和读者都会感到高兴的。

编 者

1992年3月

出版说明

全国农村贯彻落实“科技兴农”的伟大战略决策，形成了农业生产蓬勃向上、迅速发展的新局面，给广大农民带来了新的希望，因而他们迫切需要用新的农业科学技术来武装自己。

为了更好地配合“科技兴农”，也为了满足广大农民的需要，将农业科学研究的新成果、新技术、新经验，及时送到农民手中，应用于农业生产，创造更高的经济效益，农业出版社组织全国农业战线上的专家和科技人员编写了一套《农业科学技术推广丛书》，内容涉及农作物、果树、蔬菜、植物保护、土壤肥料、畜牧兽医、水产养殖、农业气象、农业工程及农产品贮藏加工等各个方面。第一批共有30多种，有的介绍综合技术，有的介绍单项技术；技术先进，措施具体、实用，图文并茂，文字通俗。具有初、高中文化程度或具有一定农业生产经验的农民，都能看得懂、学得到、用得上。这套书主要是为广大农民和各类专业农户编写的，也可供农村基层农业技术推广人员阅读参考。

我们希望这套书的出版，能受到广大农村读者的欢迎，更希望他们能够真正从中得到有益的启示，走上一条致富的道路。衷心祝愿他们获得成功。

1992年元月

目 录

出版说明

前言

一、土壤——植物营养的基地.....	1
(一) 土壤肥力与农作物产量.....	1
(二) 土壤肥力及其构成因子.....	4
(三) 植物所需养分在土壤中的转化.....	12
(四) 土壤养分的有效性.....	18
二、作物对养分的吸收.....	21
(一) 作物生长发育中所需要的营养元素.....	21
(二) 养分吸收的机制.....	32
(三) 作物生长发育与养分吸收.....	38
(四) 环境条件对作物吸收养分的影响.....	43
三、施肥的基本原理.....	52
(一) 历史的回顾.....	52
(二) 施肥基本原理.....	55
四、有机肥料和化学肥料.....	69
(一) 肥料与作物生产.....	69
(二) 有机肥料.....	75
(三) 化学肥料.....	103
五、土壤测试推荐施肥.....	174
(一) 概论.....	174
(二) 土壤测试推荐施肥系统.....	182
(三) 土壤调查.....	183

(四) 田间土壤取样技术.....	194
(五) 土壤有效养分提取剂的选择.....	199
(六) 土壤有效养分测试的校验分级.....	207
(七) 推荐施肥方法和施肥量的估算.....	215
六、植株营养诊断推荐施肥.....	243
(一) 形态诊断.....	245
(二) 植物营养诊断技术.....	261
(三) 植物营养诊断样本的采取和分析测定.....	272
七、综合推荐施肥系统.....	275
(一) 县级推荐施肥分区.....	275
(二) 产前、产中分期调控推荐施肥技术.....	279
(三) 电脑推荐施肥.....	287
八、施肥与环境.....	293

一、土壤——植物营养的基地

(一) 土壤肥力与农作物产量

农业生产发展的历史基本上就是人类开发利用土壤资源的历史，土壤的基本属性和质的特性就是肥力。土壤肥力是土壤从营养条件和环境条件方面，供应和协调作物生长的能力。土壤肥力是土壤的物理、化学和生物学性质的综合反映。

在各种环境因素和管理水平相对一致的条件下，农作物产量的高低与该作物所处土壤的肥力水平有很大的关系，即土壤肥力在相当大程度上决定着作物产量。

如果把不施肥区的农作物产量看作是土壤肥力的综合指标，而称之为地力产量，则无肥区作物产量与全肥区作物产量之比率可反映土壤肥力在产量形成中所占百分数。根据测定，对不同作物这一百分数各有不同，但一般都在65—75%之间（表1-1）。

表 1-1 不同作物地力产量的百分率（%）

作物	小麦	玉米	水稻	大白菜
最低	34.6	39.4	58.4	38.5
最高	88.4	90.0	97.3	87.6
平均	64.5	75.8	73.3	68.3

（黄德明等，1989）

土壤肥力在农作物产量形成中占有十分重要的地位，但土壤肥力本身存在着很大的差异性，而且一种土壤的肥力也是在变化中而不是固定不变的。周鸣铮等人(1976)在浙江进行的24个早稻氮肥试验结果表明，早稻在无氮区的吸氮量平均值为4.51公斤（每亩），24个试验结果之间的变幅达2.31—7.72公斤/亩，相差三倍以上，在土壤磷钾供应能力上也有相似的结果。“六五”其间，在全国14个省市的不同类型土壤上布置了七百多个三要素地力测定试验，按大区分组后可以得到如表1-2、1-3、1-4所示的土壤氮磷钾肥力分布状况。

表 1-2 我国不同地区土壤氮素肥力分布

地 区	碱解氮 (pp m)	平均相对产 量* (%)	肥力水平 (%)			n
			低	中	高	
东 北 区	192	80.4	33	67	0	139
西 北 区	63	54.8	100	0	0	109
黄 淮 海 区	66	76.7	40	60	0	147
长 江 流 域 区	128	65.4	71	29	0	289
华 南 区	132	67.3	100	0	0	66
平 均	119	69.0	65	35	0	750

* 相对产量<75%为低，75—95%为中，大于95%为高。

(黄德明等，1988)

就全国范围而言，我国农田土壤氮素肥力较低，无氮区作物相对产量平均为69%，其中氮素肥力“低”的占65%，“中”的占35%，没有氮素肥力“高”的土壤类型。土壤磷素肥力中等，无磷区作物相对产量平均为86.4%，其中磷素肥力“高”的占32%，“中”的占59%，“低”的占9%。土壤钾素肥力中上，无钾区作物相对产量平均为93.7%。其中钾素肥力“高”的占41%，“中”的占56%，“低”的占3%。

人们往往容易把土壤肥力混淆为土地生产力。土地生产

表 1-3 我国不同地区土壤磷素肥力分布

地 区	有效磷* (ppm)	平均相对产 量 (%)	肥力水平 (%)			n
			低	中	高	
东 北 区	10.4	90.4	0	67	33	139
西 北 区	9.3	82.3	0	100	0	109
黄 淮 海 区	5.6	77.8	20	80	0	147
长 江 流 域 区	11.1	88.6	14	29	57	307
华 南 区	11.4	93.2	0	67	33	66
平 均	9.7	86.4	9	59	32	768

* 有效磷用Olsen法测定。

表 1-4 我国不同地区土壤钾素肥力分布

地 区	缓效钾* (ppm)	交换钾* (ppm)	平均相对 产量 (%)	地力水平 (%)			n
				低	中	高	
东 北 区	826	245	95.3	0	67	33	139
西 北 区	1030	225	101.1	0	0	100	107
黄 淮 海 区	714	99	92.3	0	80	20	147
长 江 流 域 区	268	86	92.8	0	57	43	279
华 南 区	180	77	84.9	33	67	0	63
平 均	569	139	93.7	3	56	41	731

* 缓效钾用1N硝酸煮沸法，交换性钾用1N中性醋酸铵法测定。

力是农田土壤肥力再加上社会经济投入所造成的生产能力。它包含了许多经济因素，如水利条件、耕作技术、肥料投入、劳动力的质和量，以及交通环境等等。一块土壤肥力水平较低的农田在大量的肥水投入下，也可能获得高产。这并不能认为是这块农田的土壤肥力突然提高了，而只是土地生产力的提高。沙漠土壤在人们兴建水利设施，大量投入各种肥料后，不仅可以种植农作物和果树，而且可以获得相当高的产量，在国外已有实例，但不会有人把沙漠土壤认作是高

肥力的。

(二) 土壤肥力及其构成因子

土壤由岩石风化而成。物理性风化作用使岩石破裂成碎屑，从一个地方迁移到另一个地方；化学性风化作用，其中主要是水和溶解在水中的氧和二氧化碳的作用使岩石分解。物理和化学风化作用的结果是形成高度风化物质——粘粒，它是土壤中最小的颗粒，粘粒的含量和性质决定了土壤许多重要属性，如吸附能力、保肥、保水能力等等。高度风化物质的形成还不是土壤，只有当土壤微生物在其中繁殖，高等植物和小动物能在其中生活，这些生物的活动和它们的残体的分解加速成土过程，使风化产物变成了有生物活性的土壤。土壤和作为成土母质的风化物的差别就在于有机物质的存在。

无机颗粒、空气、水和有机物质是构成土壤的主要成分。无机颗粒大小差异很大，有石块、砾石和粗砂，直到细砂和粘粒。有机物质包括动植物的残体及其腐烂后形成的有机质，而空气和水则占据了这些颗粒的间隙。

图 1-1 是爱默生在 50 年代末提出的土壤颗粒结构的示意图。石英砂粒之间，粘粒之间，以及粘粒与石英砂粒之间都有薄层的有机质起着胶结作用，而在粘粒之间有时也会因阴、阳电荷的静电作用发生接合的情况。在土壤颗粒内部除这些固体外，还有许多空隙，有的为水占据，有的则充满了空气。

1. 土壤肥力的物理因子 在作物生长过程中所需要的水分、养分、空气、热量以及根系能否在土壤中自由伸展，均依赖于土壤的物理性质，主要有土壤质地、结构、孔隙度等。

土壤质地是指存在于土壤中大小不同矿质颗粒（粒径2毫米以下）数量间的比例。我国试行的土壤质地分类制度列于表1-5。

表1-5中的砂、粉砂和粘粒都是以粒径大小（mm）为标准划分的，称为土壤粒组分级。在粒组中还有砾（1—10mm）和石

（>10mm）两级，它们是岩石的崩解产物，其成分同于原岩石。石砾的存在阻碍了植物根系发育，又不利于耕作，所以在土壤肥力上是有害的。砂粒的主要成分是石英，它是土壤矿质部分的骨架。砂在化学性质上是“惰性的”，不参与土壤中的各种化学的、物理化学的或生物化学的反应，不能提供植物所需的养分。但是，砂影响土壤的保肥、保水性能，它渗水性强，掺砂子是一项传统的改良粘质土壤的有效措施。粉砂没有吸附性和离子交换能力，但颗粒间有一定程度的凝结力。粘粒的表面积极大，具有胶体的性质，吸附性和离子交换能力均很强，所以在土壤中由粘粒的多少来反映供肥和保肥能力。粘粒有很高的粘结性、膨胀性与流塑性，遇水成泥浆而干燥时结成硬块。

上述三种粒径的颗粒按不同比例掺混在一起就成为不同

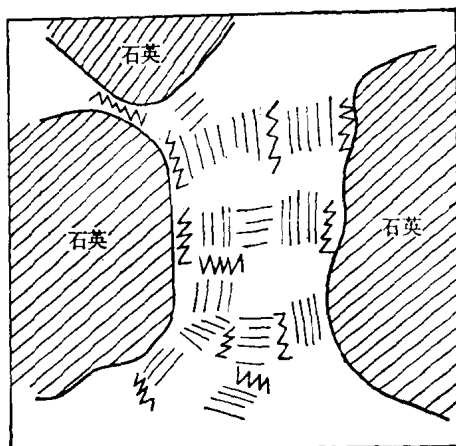


图 1-1 土壤颗粒结构示意图

(w有机质，▣土壤粘粒)

表 1-5 我国土壤质地分类

质地分类		颗粒组成 (%)		
组别	名称	砂粒 (1—0.05mm)	粗粉粒 (0.05—0.1%)	细粘粒 (<0.01mm)
砂土	粗砂土	>70	—	
	细砂土	≥60≤70	—	
	面砂土	≥50—60	—	
壤土	砂粉土	≥20		
	粉土	<20	≥40	
	砂壤土	≥20		
	壤土	<20	<40	
	砂粘土	≥50	—	≥30
粘土	粉粘土	—		≥30—<35
	壤粘土	—		≥35—<40
	粘土	—		≥40—≤60
	重粘土	—		>60

(摘自《中国土壤》第二版, 1987)

质地的土壤。周鸣铮 (1985) 归纳不同质地土壤的物理性质要点如下:

砂土组: 本组土壤含砂粒均在50%以上, 使土壤的保水保肥性弱而通气透水性强, 耕作容易, 但作物生长后期容易脱肥。早春容易升温, 故出苗快。土壤机械强度小。

壤土组: 本组土壤中各级土粒分配较均匀, 砂粒一般在50%以下, 粘粒在30%以下, 均无过多之弊。故土壤物理性良好而适中, 不过粘也不过砂, 保水、保肥、通气、透水等性能均适中。干时土壤不结块, 湿时也不粘糊, 是理想的土壤质地。

粘土组: 本组土壤含粘粒超过30%, 含砂粒一般不超过

50%，故土壤过分粘重而不易耕作，有“天晴一把刀，天雨一团糟”之称。粘质土保水保肥力强，但通气透水性很差。土壤机械强度大，在干时更是如此。

土壤结构有两种概念，一是指土壤形态发生学上的块状结构、层状结构、柱状结构等等；另一个是指土壤颗粒以团聚体形式聚集在一起的紧密程度。结构好的土壤是团粒结构的，结构差的土壤则是单粒结构的。团粒结构的大小及其稳定性对土壤肥力有很大的影响。土壤结构性的直接指标是直径0.25~10毫米水稳性团粒的含量；间接指标则是容重，它是指单位土壤体积的重量（克/厘米³），结构愈好的土壤容重愈低。

所有的旱地土壤都要求土壤固体颗粒、水分和空气三者之间有一定的比例，多了不好，少了也不好。设想土壤全由固体组成，像一块石头，植物不能生长；土壤孔隙太多，全是空气而没有水，植物也生长不良。充满了水的土壤，除了水稻等作物或水生植物外，其他作物也不能正常生长。土壤的固、水、气三相只有在团粒结构中才能统一起来，形成合适的比例。团粒内部的毛细管孔隙充满了水分，但团粒间的大孔隙—非毛细管孔隙则充满了空气，既能保水，又能透气，使作物的根系健康生长。

容重与土壤团粒结构形成程度有较好的相关性。据测定，我国东北黑钙土的容重为0.8—1.1，团粒度为65—75%；华北黄潮土的容重为1.17，团粒度为50—60%；西北灰钙土的容重为1.2—1.5，团粒度为15—40%。

土壤孔隙度也是土壤物理性质的重要因子，对土壤肥力有重要的作用。土壤孔隙度是指土壤总体积中孔隙体积所占百分率，它可分为毛细管孔隙和非毛细管孔隙两种，两者之和即

为总孔隙度。我国不同地区土壤孔隙度情况见表1-6。

从表1-6中数据可以看出，肥沃的土壤容重低，总孔隙

表1-6 我国几种土壤的孔隙度

地区	土壤	肥力性状	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	非毛管孔 隙度(%)	毛管孔隙度 (%)
华北	黄潮土	肥 沃	1.17	60	14	46
		不肥沃	1.30	48	5	43
苏南	黄泥土	松 软	1.05	60.6	—	—
		板 结	1.31	50.1	—	—
江西	红 壤	较 松	—	56.7	11.9	44.8
		板 结	—	50.2	8.7	41.5
西北	灰钙土	经改良	1.10	58.5	—	—
		未改良	1.50	44	—	—
东北	黑钙土	肥 沃	0.8	68	28	40
		中 等	1.1	58.5	18.5	40

(《中国土壤》，1980，转引自周鸣铮，1985)

度高，而其中尤以非毛管孔隙度的差别明显。毛管孔隙度在肥沃土壤与不肥沃土壤间的差别不大。

土壤孔隙度与土壤供水状况有很大的关系。土壤从降雨和灌溉得到水分，经过植物根系吸收，土壤表面蒸发和经土壤剖面下渗，留下的被吸持在土壤的小孔隙中。田间持水量就是指土壤被水饱和后，经过24小时排水还能保持在土壤中的水分，可排出的水称为重力水。处于田间持水量时的土壤水分大多能被植物吸收利用，但有一定数量的水被土壤颗粒牢固吸持，不能被植物吸收。土壤中的水分降低到这一水平时，植物因吸不到水而凋萎，此时的土壤含水量称为凋萎系数。土壤田间持水量至凋萎系数之间的水量，对植物是有效

的，其含量的大小与土壤质地、结构、孔隙度等有关。

2. 土壤肥力的化学因子 土壤中所含的养分有两个来源，一是土壤形成过程中来自岩石的化学分解，它是土壤养分的自然组分；另一来源是植物残体分解和人类生产活动中投入的肥料，它是土壤养分的后生组分。长期耕作的土壤所含养分中，自然肥力所占比例相对较低，后生的或者人为投入而成的肥力所占比例相对较高，有人认为土壤中的磷主要是在人类生产过程中不断投入肥料而积累的，它可以代表耕作土壤的年龄。影响土壤肥力的化学因子主要有离子交换能力、土壤酸碱度（pH）和氧化还原电位。

土壤的离子交换能力是土壤中无机胶体—粘粒和有机胶体—腐殖质进行电化学反应的能力。粘粒具有不完全的晶格结构，所以在粘粒表面带负电荷，表现出阴离子的许多特性，吸收带正电荷的阳离子，如 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等等。腐殖质也是阴电胶体，但它的分子上还带有各种形式的键，可以把无机粘粒包在腐殖质里面，形成土壤有机无机复合胶体，它可以进行阳离子的吸附和交换，也可进行阴离子的吸附与交换，是土壤肥力中起重大作用的组分。

土壤的阳离子交换能力用阳离子交换量（CEC）表示，它是100克土壤所能吸附或交换的阳离子的最高毫克当量数，目前一般用1N醋酸铵溶液饱和法的测定值为标准。交换量大的土壤对钾、氨、钙、镁等阳离子有较大的吸附量，这就是土壤的保肥能力。

土壤中有些胶体物质，如 R_2O_3 或 $\text{R}(\text{OH})_3$ （R指金属离子），均属阳电胶体，而有机胶体的腐殖质也带有两性，在土壤酸性条件下，它带阳电性，在碱性条件下则带阴电性。所以，土壤中这些胶体还有阴离子的吸附交换能力，如上所